

ГИПСОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БАССЕЙНА «ЮЖНЫЙ ПОЛЮС-ЭЙТКЕН» НА ЛУНЕ

Литвин П.В., Родионова Ж.Ф., Шевченко В.В., Суэтова И.А.

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ, Географический факультет МГУ

A HYPSEMETRIC FEATURES OF THE LUNAR “SOUTH POLE-AITKEN” BASIN

Litvin P.V, Rodionova J.F., Shevchenko V.V., Suetova I.A.

Sterberg State Astronomical Institute Moscow University, Geographical Faculty Moscow University

Abstract. The hypsometric maps of the South Pole-Aitken basin were compiled on the basis of altimetric data of Clementine mission with the contours 500 m and 100 m. The rim-crest of SPA basin is asymmetric in the height. The highest point 8.2 km (161.3W, 13.0S) is to the west of Galois crater. The northeastern part of the SPA rim-crest is about 2-4 km higher than the western part. The bottom of SPA basin is inclined to the south with the height range of 5 km. The lowest point -7.98 km is in the Cabannes crater. Apollo basin has the height range about 5 km, but the inclination of the inner walls is less than 8 degrees. The lava flooding part in the center of SPA basin is on the level from -4.5 till -5.5 km. Leibnitz and Zeeman craters on the bottom of SPA basin have the elevations about -6.4 km. An analysis of profiles constructed along meridians with the intervals of 100 m in the elevation showed that the southwestern part of SPA basin is lower than southeastern part but the northwestern part is higher than the northeastern part. The medium level of the basin is -2.773 km.

Европейское космическое агентство впервые планирует осуществить запуск космического аппарата SMART-1 (SMART - Small Missions for Advanced Research in Technology – небольшие миссии для продвижения технологий) к Луне. Аппарат выйдет на орбиту вокруг Луны в 2004 г. В середине 2004 года к Луне подлетят и японские аппараты «Луна-А», снабженная пенетраторами для определения размера ядра Луны и «Селена» для изучения Луны с орбиты и посадки спускаемого аппарата.

Масса аппарата SMART-1 при запуске составит 350 кг. Общая масса научной аппаратуры, в которую входят новые инструменты и передовые технологии, - 15 кг. Миниатюрная камера высокого разрешения (AMIE) для получения изображений лунной поверхности и инфракрасный спектрометр (SIR) для исследования минерального состава лунных пород и очень компактный рентгеновский спектрометр (D-CIXS) с детектором нового типа и микро-коллиматором, который будет выполнять флуоресцентную спектроскопию и элементный состав поверхности.

В рамках подготовки к полету аппарата предусмотрено международное сотрудничество – объединение результатов исследований последних лет КА «Клементина» (1994) и КА «Лунар Проспектор» (1998). Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга участвует в программе INTAS (№ 792) наряду с обсерваториями Франции, Германии, Финляндии и Украины.

Лазерный альtimетр КА «Клементина» закартографировал поверхность Луны с разрешением 200 м. Также уточнен рельеф бассейна «Южный Полюс-Эйткен» на обратной стороне Луны, диаметром более 2500 км – самого крупного бассейна в Солнечной системе и подтверждены выводы о постоянно затененных областях в приполярных районах, где возможно наличие водяного льда [15]. КА «Лунар Проспектор», запущенный в январе 1998 г. – относительно недорогой аппарат НАСА, был предназначен для получения ответов на вопросы о ресурсах Луны, ее строении и происхождении. В течение 18 месяцев выполнено картографирование распространения тория, калия, радиоактивных элементов и железа. В марте 1998 г. аппарат подтвердил наличие водорода в приполярных районах, которое было интерпретировано как водяной лед [2].

Съемка аппарата SMART-1 будет вестись в районе бассейна «Южный полюс – Эйткен», поэтому важно исследовать рельеф этого района детально. Бассейн Южный Полюс-Эйткен (170° з.д. и -55° ю. ш., диаметром примерно 2500 км и глубиной более 8 км) – наиболее значительное топографическое образование на лунной поверхности с перепадом высот более 12 км (при общем диапазоне высот на поверхности Луны в 16 км) [11,5]. Все вышеперечисленные обстоятельства определяют особую важность изучения этой структуры, называемой пока неофициально бассейном «Южный Полюс-Эйткен» (South Pole-Aitken basin), поскольку он простирается от южного полюса до кратера Эйткен. Основной задачей, конечно же, остается восстановление механизма формирования этой гигантской структуры. Особый интерес к бассейну возник после того, как результаты бистатического радиолокационного эксперимента на КА «Клементина», а также и результаты нейтронного спектрометра, уста-

новленного на борту КА «Лунар Проспектор», позволили заподозрить реальное существование льдов в местах постоянного затенения, предположительно существующих у лунных полюсов.

Оказалось, что впервые бассейн был обнаружен при изучении наиболее ранних космических снимков обратной стороны еще в далеком 1959 году. Территория, соответствующая бассейну Южный Полюс - Эйткен была достаточно четко видна на этих снимках, полученных аппаратом «Луна-3». Международная комиссия по лунным названиям дала структуре имя - Море Мечты (Генеральная ассамблея МАС, Беркли, США, 1961). По результатам анализа снимков «Лунар Орбитер», полученных в конце 60-х годов, название «Море Мечты» было закреплено за небольшой темной структурой в северо-западной части бассейна, а сам гигантский бассейн явно обнаружить по этим снимкам не удалось. Существует ряд публикаций, содержащих результаты измерений профилей лимбов на снимках, доставленных возвращаемыми на Землю космическими аппаратами «Зонд-6» и «Зонд-8», которые обнаруживали впадину в области, занимаемой ныне бассейном «Южный Полюс-Эйткен» [13,6]. По материалам КА «Зонд-8» и по данным лазерных альтиметров неоднократно строились топографические профили бассейна [9,8], а также схемы примерного расположения структуры. Современные параметры бассейна определены по снимкам, переданным с КА «Галилео», а также по снимкам и

результатам лазерной альтиметрии, полученным с КА «Клементина». Предполагается, что бассейн образовался в период 4,3-3,9 млрд. лет назад на ранней стадии истории Луны, и является одним из древнейших образований на ее поверхности [11,18]. Интересно, что ранее высказывалось предположение, что этот бассейн представляет собой, наоборот, наиболее молодую депрессию на Луне [6].

На территории этого гигантского бассейна находится множество кратеров, в том числе и очень крупные образования поперечником более 300 км: Планк, Пуанкарэ, Шредингер, Аполлон, Море Мечты. Концентрация тория и железа элементов, входящих в состав лунной коры, - имеет свои максимальные значения в наиболее низких частях бассейна. Исключение составляют только те глубокие кратеры и морские бассейны, которые заполнены базальтовыми лавами (напр. Аполлон и Антониади).

Создание гипсометрической карты бассейна «Южный полюс-Эйткен

Высотные данные альтиметрии КА «Клементина» представляли собой файл с высотами точек бассейна с разрешением 0,25°. Список высот был приведен к необходимой для работы форме – таблице с тремя столбцами: широта, долгота и относительная высота – в программе Microsoft Excel. После конвертации файла в формат dbf, загрузки его в ГИС с добавлением в качестве событийной темы во фрейм данных, мы получили точечную тему, содержащую 204 800 высотных отметок. Тема была конвертирована в шейп-файл, а затем и в покрытие ArcInfo.

Исходное точечное покрытие, как и все другие наборы данных, были приведены к одной географической системе координат, в которой единицей измерения были градусы, а также заданы параметры поверхности относимости Луны – сферы с радиусом 1738 км. Таким образом, после этого все данные можно было проектировать в любую желаемую проекцию.

Построение изолиний по точкам было осуществлено посредством сплайновой интерполяции, встроенной в модуль Spatial Analyst ArcGis8. В результате после конвертации мы получили линейное покрытие изолиний рельефа, построенных для различных карт соответственно через 100 и 500 м. Для построения гипсометрической карты способом изолиний с послойной окраской были необходимы, однако, не линии, а полигоны, поэтому для линейного покрытия была построена полигональная топология. В связи с тем, что при построении полигональной топологии теряется информация о высотах соответствующих полигонов, а высотный атрибут сохраняется лишь в линиях, была использована программа на языке AML (Arc Macro Language – язык среди ArcInfo). Программа создавала в таблице РАТ полигонов покрытия поля с высотами левой и правой от полигона изолинии. Однако после этого было необходимо тщательное редактирование, ведь «последние» изолинии (например, самая «верхняя» изолиния холма), а также полигоны на границе карты получили лишь один атрибут.

Поэтому, всю карту было необходимо тщательно отредактировать вручную, присвоив полигонам недостающие атрибуты. Следующим этапом построения гипсометрической карты была разработка шкалы высот. В результате была подобрана шкала с переменным сечением следующего вида (ниже приведены высоты соответствующих ступеней шкалы в километрах, где за ноль принят средний радиус Луны-1738 км):

ниже - -6 - -5 - -4,5 - -4 - -3,5 - -3 - -2,5 - -2 - -1,5 - -1 - -0,5 - 0 - 0,5 - 1 - 2 - 4 - 6 - выше.

Для построения данной карты была выбрана псевдоцилиндрическая проекция Робинсона с центральным меридианом 170° з.д., соответствующим центру бассейна. Выбранный масштаб для оригинала карты – 1:6 000 000 – во-первых, отвечает полученной детальности, а во-вторых – идеально подходит под выбранный вариант компоновки: на стандартном листе А1.

После построения изолиний, на изучаемой территории были распознаны наиболее крупные лунные образования – кратеры и бассейны. Для того чтобы наиболее точно отождествить их на карте, был использован каталог именованных кратеров, утвержденный Международным астрономическим союзом, из которого были отобраны кратеры, попадающие на изучаемую территорию, а затем таблица была преобразована в шейп-файл из событийной темы. После задания координатной системы файла, данные были добавлены к карте и подписаны основные структуры, в зависимости от их размера. Разрешение исходных дискретных данных позволило отождествить на карте кратеры диаметром более 25 км, многие из которых имеют на дне пики и горки (Родионова, Дехтярева, 1986). Для увеличения объема информации, получаемой с карты, было принято решение о нанесении на нее ряда экстремальных высотных отметок. К компоновке карты были добавлены две врезки-диаграммы (гипсографическая кривая и график частоты встречаемости высот на поверхности бассейна).

Рельеф на втором варианте карты представлен изолиниями, без послойной окраски. Изолинии, показанные разным цветом в соответствии со шкалой, проведены через 100 м, что позволяет выполнять по карте измерения с очень большой точностью. Для построения этой карты были выбраны те же проекция и масштаб.

Морфометрический анализ бассейна Южный Поляс-Эйткен

Следует отметить, что морфометрические работы возникли из практической потребности геоморфологического картографирования и завершались составлением геоморфологических карт с морфометрическими показателями или специальных морфометрических карт [3].

Для построения гистограмм частоты встречаемости высот на Луне были вычислены занимаемые разными уровнями высот площади после того, как была спроектирована гипсометрическая карта с помощью инструмента ArcToolbox Project Wizard, входящего в программный пакет ArcGis8. Полученные данные были подвергнуты анализу. Результаты этих подсчетов представлены в виде гистограммы, по осям которой отложены абсолютные высоты гипсометрических уровней и площади лунной поверхности, занимаемые этими уровнями в тыс. км² или в процентах от исследуемых поверхностей. Интересным также представляется сравнение гистограмм, построенных для бассейна и для всей поверхности Луны (рис. 1).

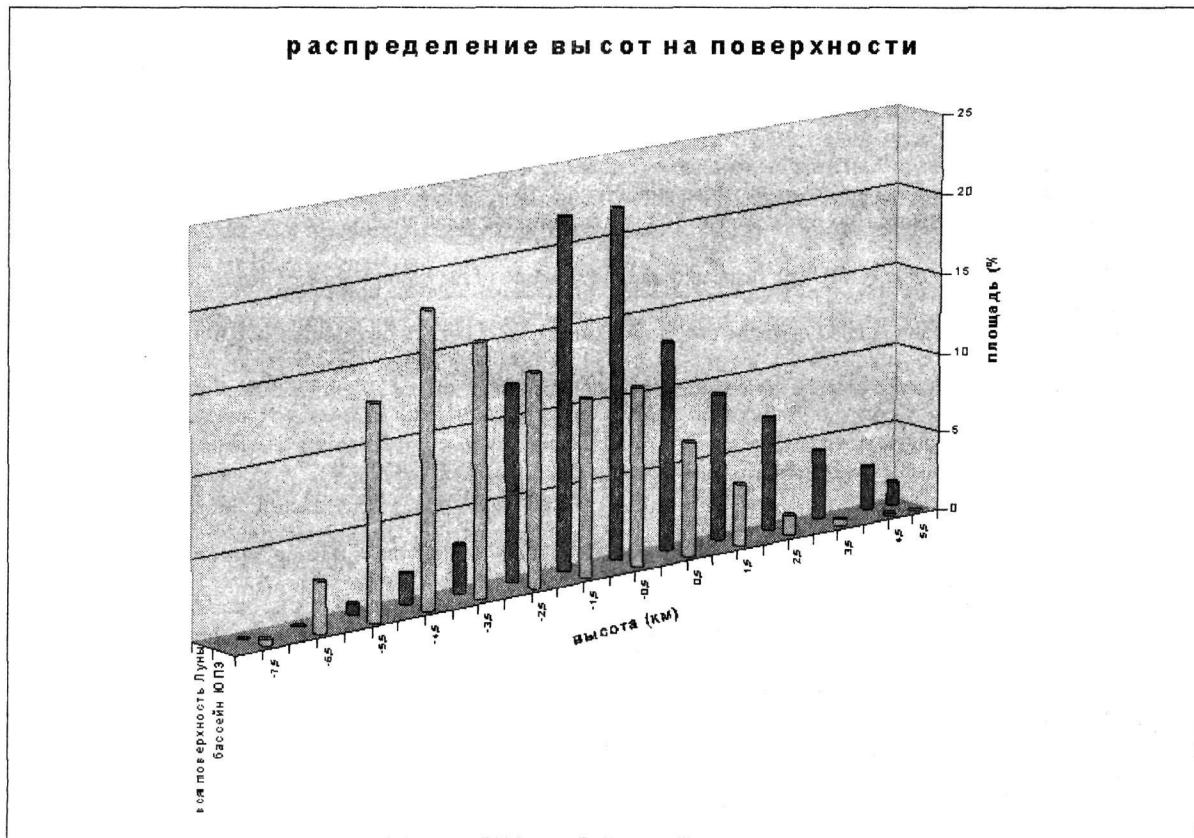


Рис. 1. Распределение высот на всей поверхности Луны и на территории бассейна

Сравнивая эти гистограммы можно сделать вывод, что по внешнему виду они похожи, однако гистограмма бассейна сдвинута в более низкую часть высот. Для всей поверхности Луны характерно преобладание высот в интервале от -2 км до нуля. Вместе высоты этого интервала занимают около 45% территории. Для бассейна Южный Поляс-Эйткен преобладают высоты от -5 км до -3 км, которые вместе составляют около 35% площади всего бассейна. Общая площадь бассейна, по нашим данным, - 3792 тыс. км². Абсолютный максимум по занимаемой площади -363,3 тыс. км² приходится на высотные ступени бассейна от -5 км до -4,5 км, что составляет практически 10 % всей площади. Для всей поверхности Луны наибольшую площадь занимают высоты в диапазоне от -1,5 км до -1 км (чуть более 10%). Необходимо отметить также небольшой второй пик на гистограмме для бассейна в интервале от -1,5 км до нуля, который несколько видоизменяет кривую по сравнению с нормальным распределением. Таким образом, можно сделать вывод, что характер распределения высот на территории изучаемого бассейна не совсем похож на распределение высот для всей поверхности.

Прежде всего, это связано с тем, что бассейн имеет гораздо более низкую среднюю высоту по сравнению со всей лунной поверхностью. Например, территории, имеющие высоту более -1 км, в районе бассейна составляют лишь 35,2%, в то время как для всей поверхности Луны эти высоты занимают 81,7% площади. Наиболее низкие ступени (ниже -7 км) занимают на Луне чуть более 0,1%, и все эти впадины попадают именно на территорию изучаемого бассейна.

Для бассейна Южный Полюс-Эйткен была рассчитана средняя высота, которая составила $H_{ср.} = -2,773$ км, что на 2,34 км меньше, чем средний уровень лунной поверхности.

На построенной гипсометрической карте бассейна было идентифицировано и подписано 98 наиболее крупных и читаемых по карте образований. Абсолютный минимум в бассейне (-7978 м.) приходится на дно кратера Кабанн. Однако на валу бассейна располагается и ряд экстремально высоких отметок, наибольшая из которых достигает отметки +8162 м (в районе кратера Доплер). Таким образом, перепад высот бассейна составляет 16,1 км

Нами также построены профили вдоль меридианов, по которым легко прослеживается асимметрия валов и дна бассейна. Глубина бассейна увеличивается с севера на юг. Глубина в северо-западной части бассейна значительно меньше, нежели в северо-восточной (например, в Море Мечты максимальные глубины -4,5 км, а в Аполлоне -7,2 км). Высота вала бассейна в северо-западной части также значительно меньше, чем в северо-восточной. Таким образом, можно сделать вывод, что бассейн в западной части значительно более плоский и имеет менее четкий вал, чем в северо-восточной. Наиболее четкую U-образную форму профиля можно видеть на меридиане 160 градусов западной долготы, на котором выделяется лишь Аполлон. На других профилях представлено сильное расчленение рельефа и большое количество четко читаемых кратеров. Из-за крайне плохого качества альтиметрических данных у южного полюса, (от 76 градусов до полюса) невозможно анализировать южную часть бассейна. В дальнейшем следует привлечь фотограмметрические данные на эту часть бассейна.

Литература

1. Алавердов В.В, Бородин Б.В. Основные направления космической деятельности России в 2001-2005 гг. //Земля и Вселенная (2001) №1 с.9-22
2. Биндер А.Е. (Binder A.E.). Lunar Prospector Overview., 1998, <http://lunar.arc.nasa.gov>.
3. Волков Н.М. Принципы и методы картометрии (1950)
4. Гаврилов И.В. Гипсографическая кривая Луны//сборник докладов международного симпозиума Физики Луны и планет с.144-147
5. Зубер и др. (M.T. Zuber et all). The shape and internal structure of the Moon from the Clementine mission //Science, 1994. V. 266. P. 1839-1843.
6. Лейкин Г.А., Санович А.Н. О природе бассейна Южного на обратной стороне Луны //Астрон. вестн. 1985. Т.9.№2. С.113-119
7. Лоуренс и др. (Lawrence et al.). Thorium abundances on the Lunar surface. // Journ. of Geophys. Res., 2000. V.105. № E8. P.20,321-20,325)
8. Родионов Б.Н., Исавнина И.В., Авдеев Ю.С. и др. Новые данные о фигуре и рельефе Луны по результатам обработки фотографий, доставленных «Зондом-8» //Космич. исслед. 1971. Т.9. №3. С.450-458
9. Родионов Б.Н., Нефедьев А.А., Шпекин М.И. и др. Изучение рельефа обратной стороны Луны по фотографиям КА «Зонд-8» // Космич. исслед. 1976. Е.14. №4. С.624-629
10. Родионова Ж.Ф. Дехтярева К.И. Гипсометрические особенности Луны и планет земной группы /Проблемы комплексного исследования Луны (1986) МГУ с 56-71
11. Битти Д.К. (J.K.Beatty). New measures of the Moon // Sky & Telescope. 1995. P. 32-33
12. Спудис и др. (Spudis P.D., Reisse R.A., Gills J.J.). Ancient Multiring Basins on the Moon Revealed by Clementine Laser Altimetry // Science. 1994. V.266. P. 1848-1851.
13. Хэд и др. (Head J.W., Murchie S., Pieters C.M. et al.). Lunar impact basins: new data for the Western limb and far side (Orientale and South Pole-Aitken Basins) from the first Galileo flyby // J. Geophys. Res. 1993. V.98. № E9. P.17,149-17,181
14. Чикмачев В.И., Шевченко В.В. Макромодель рельефа южной полярной области Луны //Астрон. вестн., 1999. Т.33, №1. С.18-27
15. Шкуратов Ю.Г. Итоги полета «Клементины»/ Земля и Вселенная (1997) №5 с.14-22
16. Шевченко В.В. "Лунар Проспектор" погиб, проблемы остались..."/Земля и Вселенная (2001) №1 с.23-33
17. Шевченко В.В. Луна и ее наблюдение М: Наука,1983 с.7-127
18. Шумейкер и др. (Shoemaker E.M., Robinson M.S., Eliason E.M.). The South Polar Region of the Moon as seen by Clementine // Science. 1994. V.266. P.1851-1854